

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-221553

(P2000-221553A)

(43)公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーム(参考)

G 0 2 F 1/365

G 0 2 F 1/35

6 0 1

2 K 0 0 2

審査請求 有 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平11-27203

(22)出願日 平成11年2月4日(1999.2.4)

(71)出願人 000003078

株式会社京芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 飯塚 紀夫

神奈川県川崎市幸区小向京芝町1番地 株

式会社京芝研究開発センター内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

Fターム(参考) 2K002 AA02 CA13 CA22 DA08 DA12

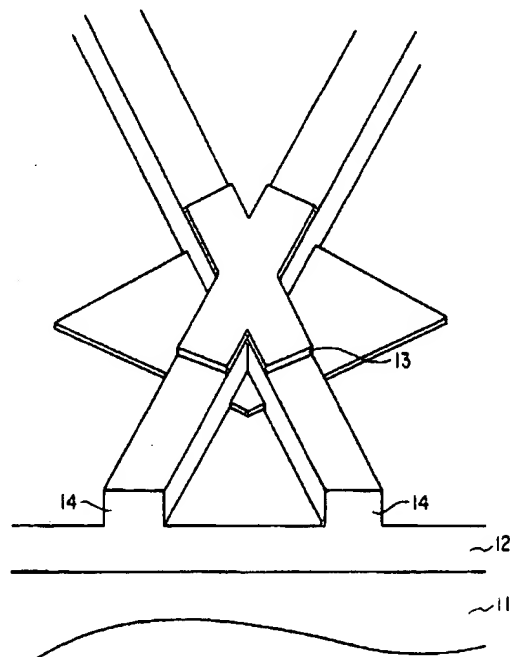
FA04 FA17 HA13

(54)【発明の名称】 非線形光デバイス

(57)【要約】

【課題】波長1.55 μ mのサブバンド間遷移を実現することができ、かつ量子井戸構造における結晶性の劣化を抑制することができ、電子の閉じ込め係数が高く十分な強度のサブバンド間吸収を発現する。

【解決手段】 サファイア基板11上にGa_{0.5}Nバッファ層12を介してGa_{0.5}N/Al_xGa_{1-x}N多重量子井戸層13を形成し、この多重量子井戸層13でサブバンド間遷移による光吸収層を構成した非線形光デバイスにおいて、多重量子井戸層13のAl_xGa_{1-x}N障壁層のAl組成xを基板側から表面側に向けて減少させている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に複数の窒化物半導体層が積層され、この積層構造部中に、導波路の一部を構成し、かつサブバンド間遷移による光吸収層を構成する多重量子井戸構造を備えた非線形光デバイスであって、前記多重量子井戸構造の障壁層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) で構成され、かつこの障壁層の一部又は全部においてAlの組成xが基板側から表面側に向けて減少していることを特徴とする非線形光デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光スイッチ、光変調器、波長変換素子などの非線形光デバイスに係わり、特にサブバンド間遷移による光吸収層を構成する多重量子井戸構造を備えた非線形光デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体レーザ、低損失光ファイバ、光ファイバ増幅器、高速集積回路などのオプトエレクトロニクス関連技術の発展により、毎秒10ギガビットという大量の情報を長距離伝送することが可能となっている。しかし、来るべきマルチメディア時代においては、一般の末端利用者也高精細映像情報などの大量の情報をリアルタイムで利用できることになるので、さらに大容量の情報を伝送、処理できるインフラストラクチャの構築が必要になる。

【0003】光ファイバの広帯域性を活かして大容量の情報伝送、処理を行うには、光周波数多重（光FDM）技術や光時分割多重（光TDM）技術を用いるのが妥当と考えられる。そこで、大規模で効率的な光FDMネットワークや光TDMネットワークの実現に向けて、コンパクトで高効率の波長変換素子、光制御型の超高速非線形光スイッチなどの、新しい機能を有する光素子を開発することが急務となっている。

【0004】このような光素子として、電子のサブバンド間遷移に伴う光吸収を応用した非線形光デバイスが考えられる。サブバンド間吸収を利用することにより、応答速度を高く、かつ非線形性を大きくすることができ、この場合のサブバンド間吸収は、光通信で用いられる1.55 μm 付近の波長で動作する必要がある。

【0005】サブバンド間吸収については、 InP 基板上に形成した $\text{InGaAs}/\text{AlAs}$ 量子井戸層を用いてこの波長での吸収が報告されている（J.H.Smet et al., Appl.Phys.Lett., Vol.64, pp986-987(1994)）。しかしながら、この材料系の場合、サブバンド間遷移の緩和時間が数psと比較的長く、将来的に要求されるであろうTb/sの信号に対応することは不可能である。そこで、緩和時間が約100fsと理論的に予測されているGa_{0.53}N系半導体を用いて量子井戸層を形成する必要がある。

【0006】しかるに、例えばサファイア基板上にGa

Nをバッファ層として成長したものの上に、Ga_{0.53}Nを井戸層に、 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}$ を障壁層に用いて多重量子井戸層を形成しようとした場合、井戸層厚とサブバンド間吸収波長の関係はフラットバンド近似から計算されるものとは大きく異なることが本発明者らの実験により分かった。即ち、図4に示すように、井戸層が厚いときには実験により得られたサブバンド間吸収波長の実測値41は計算から予測される値42よりも短くなり、一方井戸層がある程度以上薄くなるとサブバンド間吸収波長の実測値41は一定となり、さらに薄くなると吸収は観測されなくなってしまう。さらに重要なことは、最短のサブバンド間遷移波長が約3 μm であり、計算上は可能な光通信波長である1.55 μm での吸収が見られないことである。

【0007】サブバンド間遷移波長の更なる短波長化のためには障壁層のAl組成を上げることが考えられる。しかし、実際にはこのようにすると、量子井戸層の性質が劣化することが本発明者らの実験により分かった。図5に、障壁層及び井戸層の厚さがほぼ同じである $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}/\text{Ga}_{0.53}\text{N}$ 多重量子井戸層からのフォトルミネッセンス（PL）スペクトル51と $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{N}/\text{Ga}_{0.53}\text{N}$ 多重量子井戸層のPLスペクトル52の比較を示す。図から分かるように、Al組成が高い場合には量子井戸層からの発光の強度は弱く、幅が広くなる。これは、Al組成が大きくなり、Ga_{0.53}Nとの格子定数差が増大するために、障壁層の結晶性が悪化し、量子井戸界面、特にAlGa_{0.53}N上のGa_{0.53}Nとの界面の平坦性が悪化するためである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、Ga_{0.53}N/AlGa_{0.53}N多重量子井戸構造を用いて波長1.55 μm のサブバンド間遷移を実現しようとしても、障壁層のAl組成が比較的小さいときにはサブバンド間遷移波長が十分に短くならず、Al組成を大きくしようすると、量子井戸構造の品質が悪化するという問題があった。

【0009】本発明は、上記事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、波長1.55 μm のサブバンド間遷移を実現することができ、かつ量子井戸構造における結晶性の劣化を抑制することができ、電子の閉じ込め係数が高く十分な強度のサブバンド間吸収を発現することが可能な非線形光デバイスを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】（構成）上記課題を解決するために本発明は次のような構成を採用している。

【0011】即ち本発明は、基板上に複数の窒化物半導体層が積層され、この積層構造部中に、導波路の一部を構成し、かつサブバンド間遷移による光吸収層を構成する多重量子井戸構造を備えた非線形光デバイスであって

て、前記多重量子井戸構造の障壁層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で構成され、かつこの障壁層の一部又は全部において Al の組成 x が基板側から表面側に向けて減少していることを特徴とする。

【0012】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

- (1) 基板は、サファイア、 SiC 、又は GaN であること。
- (2) 障壁層の Al 組成 x は、表面側が 0.45 以上であること。
- (3) 障壁層の厚さは、1.3~5 nm であること。
- (3) 井戸層は $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$, $0 \leq b < 1$) であること。

【0013】(作用) GaN/AlGaIn 多重量子井戸構造には、ピエゾ効果や自発分極の影響で、他の半導体材料の多重量子井戸構造に比べて非常に大きな内部電界が発生している。この様子を模式的に図6に示す。障壁層上部は電界の影響で三角ポテンシャルになっており、第2サブバンド22が形成されてもトンネル効果により、ミニバンドが形成されてしまい、サブバンド間吸収スペクトルは弱くかつ幅広なものになってしまう。また、第2サブバンド22がこの三角ポテンシャル領域に存在するような状況では実効的な井戸幅が第1サブバンド21に比べて広がっており、従って井戸幅を狭くしていても、第1サブバンド21と第2サブバンド22とのエネルギー差はそれほど増大しない。

【0014】このような問題を回避するためには、第2サブバンド22が三角ポテンシャル領域には存在しないように障壁を高くしてやればよい。このためには Al 組成を高くする必要がある。しかし、 Al 組成を高くすると、 GaN との格子定数差が大きくなるために、結晶性が悪化しやすくなる上に、一般的に AlGaIn 上の GaN との界面も悪くなる。

【0015】そこで本発明は、障壁層の Al 組成を一定にはせず、各障壁層中で変化させることでこの問題を解決する。つまり、例えば AlGaIn 障壁層において、基板側から表面側に向かって Al 組成を 0.85 から 0.65 に連続的に減少するように形成する。このようにすると、もしこの多重量子井戸構造に電界がかかっていなければ、障壁層のエネルギーは上部(表面側)に行くに従って減少し、第2サブバンド22は三角ポテンシャル部に形成されてしまう。しかし、実際には上述のように、ピエゾ効果や自発分極のために、多重量子井戸構造には電界が発生しており、障壁層のエネルギーは図7に示すように Al 組成が上部に行くに従って減少しても、ポテンシャルエネルギーの減少は抑制される。

【0016】従って、第2サブバンド22は三角ポテンシャル中には形成されず、閉じ込め効率が高くなり、強いサブバンド間吸収が実現できる。また、井戸幅を小さくしたときにサブバンド間エネルギーの増大が顕著にな

る。しかも、障壁層の平均の Al 組成は一律に Al 組成を 0.85 とした場合に比べて小さいので、格子定数差も比較的小さくでき、結晶性の悪化も抑制できる。さらに、 AlGaIn 上部の GaN に接する部分の Al 組成は小さいので、その上に形成される GaN との界面の質の悪化も防ぐことができる。

【0017】このように本発明では、 AlGaIn 障壁層の Al 組成を下部から上部、即ち基板側から表面側に向かって小さくなるように変化させることにより、波長 1.55 μm のサブバンド間遷移を実現するために障壁層の Al 組成を大きくしても結晶性の劣化を抑制することができ、電子の閉じ込め効率が高く、十分な強度のサブバンド間吸収を発現させることが可能となる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

【0019】(第1の実施形態) 図1は、本発明の第1の実施形態に係わる非線形光デバイスの構成を模式的に示す斜視図である。

【0020】サファイア基板11の上に、厚さ 2 μm の GaN バッファ層12、多重量子井戸層13が順次積層されている。多重量子井戸層13は、 Si を $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープした厚さ 1.5 nm の GaN 井戸層と、基板側(下部)の Al 組成が 0.85 で表面側(上部)の Al 組成が 0.65 になるように連続的に変化している厚さが 1.5 nm の AlGaIn 障壁層と、を 30 組積層することで構成されている。このような結晶成長層が幅 1 μm 、高さ 1 μm の光導波路14を形成している。この導波路14が2本、交差する形になっており、この交差部及びその周辺を除いては、多重量子井戸層13が除去されている。

【0021】このような素子構造は、次のようにして作成することができる。まず、サファイア基板11上に、常圧CVD法により、TMG(トリメチルガリウム)とアンモニアガスをを用いて GaN バッファ層12を成長する。次いで、TMA(トリメチルアルミニウム)を加え、TMAの流量を徐々に下げ、逆にTMGの流量を徐々に上げていくことで、 Al 組成が徐々に減少しているような AlGaIn 障壁層を成長する。次いで、TMGの流量を一定に保ち、 GaN 井戸層を成長する。このサイクルを更に29回繰り返した後、最上層の AlGaIn 障壁層を成長することにより、多重量子井戸層13の形成を終了する。

【0022】次いで、上記のMOCVD成長基板上にCVD法を用いて SiO_2 を堆積し、フォトリソグラフィにより導波路部分のパターニングを行い、不要な SiO_2 を除去した後、RIE(反応性イオンエッチング)により、高さ 1 μm の導波路14を一部交差するように例えば2本形成する。そして、残った SiO_2 を除去した後、再度CVD法で SiO_2 を堆積する。上記と同様に

フォトリソグラフィにより、導波路14の交差部及びその周辺のみ SiO_2 を残し、他は除去する。その後、RIEにより SiO_2 をマスクとして、多重量子井戸層13の一部をエッチングにより除去する。残った SiO_2 を除去すれば、前記図1に示す素子構造が得られる。

【0023】このように本実施形態では、 GaN/AlGaIn 多重量子井戸層13における AlGaIn 障壁層の Al 組成を基板側から表面側に向かって0.85から0.65に連続的に減少させているので、障壁層のポテンシャルエネルギーは前記図7に示すように、三角ポテンシャルではなくほぼ一定となる。このため、閉じ込め効率が高くなり、強いサブバンド間吸収が実現できる。

【0024】(第2の実施形態)図2は、本発明の第2の実施形態に係わる非線形光デバイスにおける模式的なバンド構成を示す図である。

【0025】先に説明した第1の実施形態では、多重量子井戸層13における AlGaIn 障壁層の Al 組成を一定の割合で変化させていたが、本実施形態では、例えば AlGaIn 障壁層の厚さを2nmとし、初めの1nmにおいて Al 組成を0.85から0.75まで変化させ、次の1nmにおいて0.45まで変化させる。

【0026】本実施形態の場合、第2サブバンド22は実効的な井戸幅が広がった部分に位置するが、障壁層の Al 組成が大きい部分が十分な厚さを持っているので、電子がトンネルで散逸することはない。一方、実効井戸幅が広い部分に位置することにより、サブバンド間エネルギーは井戸幅揺らぎの影響を受け難くなるという利点がある。

【0027】(第3の実施形態)図3は、本発明の第3の実施形態に係わる非線形光デバイスにおける模式的なバンド構成を示す図である。

【0028】本実施形態においては、障壁層の厚さを3nmとし、初めの2nmは Al 組成を0.75と一定にし、次の1nmで0.55まで下げる。このようにすると、初めの部分の Al 組成が比較的小さいので、第2サブバンド22は実効的な井戸幅が広がる部分に形成される。従来例とは異なり、その後において Al 組成を下げていたために、多重量子井戸層中の平均の Al 組成はそれほど増大せず、良好な結晶性を保ったまま障壁層の厚さを厚くできる。その結果、電子のトンネリングが抑制され、十分なサブバンド間吸収を維持できる。また、第2サブバンド22が実効井戸幅の広い部分に位置するため、第2の実施形態と同様に、サブバンド間エネルギーは井戸幅揺らぎの影響を受け難くなる。

【0029】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。実施形態では、基板としてサファイアを用いたが、これに限らず SiC や GaN を用いることができる。

【0030】また、障壁層の Al 組成は適宜変更できるが、結晶成長の再現性や制御性を考慮し、組成変化を最

小限にするという観点から、表面側で0.45以上にすることが望ましい。また、障壁層の厚さの下限は、第2サブバンドが三角ポテンシャル部に形成されない場合でもトンネリング効果が大きく寄与してしまうような厚さで規定され、それは1.3nmである。また、障壁層の厚さの上限は、良好な結晶性が維持できる厚さで規定される。即ち、井戸層と障壁層との間には大きな格子定数差があるために、厚い障壁層を用いた場合には結晶性が劣化し、このためにサブバンド間遷移が実現できなくなる。本発明者らの実験によれば、障壁層の厚さを5nm以下にすれば十分なサブバンド吸収を観測することができた。

【0031】また、井戸層は必ずしも GaN に限るものではなく、 AlGaIn 障壁層よりもバンドギャップが狭いものであればよく、 Al 組成の低い AlGaIn や InGaIn を用いることも可能である。

【0032】その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0033】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、サブバンド間遷移による光吸収層を構成する多重量子井戸構造を備えた非線形光デバイスにおいて、多重量子井戸構造の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 障壁層の一部又は全部において Al の組成 x を基板側から表面側に向けて減少させることにより、波長1.55 μm のサブバンド間遷移を確実に実現することができ、かつ量子井戸構造における結晶性の劣化を抑制することができ、電子の閉じ込め係数が高く十分な強度のサブバンド間吸収を発現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる非線形光デバイスの素子構造を示す斜視図。

【図2】第2の実施形態における多重量子井戸のバンド構成を示す模式図。

【図3】第3の実施形態における多重量子井戸のバンド構成を示す模式図。

【図4】サブバンド間吸収波長と井戸層厚との関係を示す図。

【図5】 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸と $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸のPLスペクトルを示す図。

【図6】 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸のバンド構成を示す模式図。

【図7】障壁層の Al 組成を0.85から0.65に連続的に変化させたときのバンド構成を示す模式図。

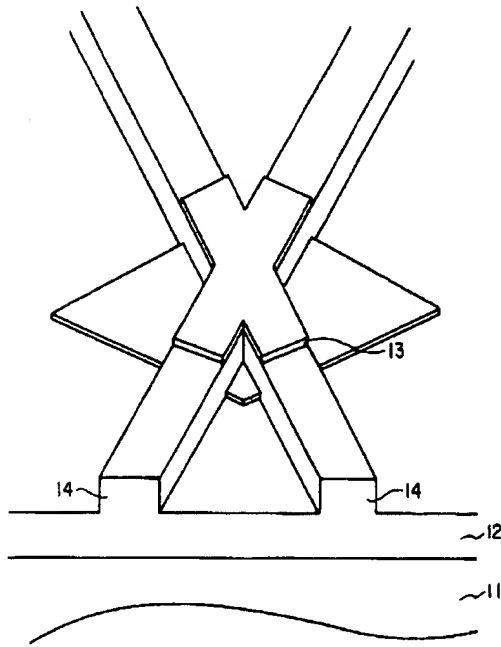
【符号の説明】

- 11…サファイア基板
- 12… GaN バッファ層
- 13… GaN/AlGaIn 多重量子井戸構造
- 14…光導波路

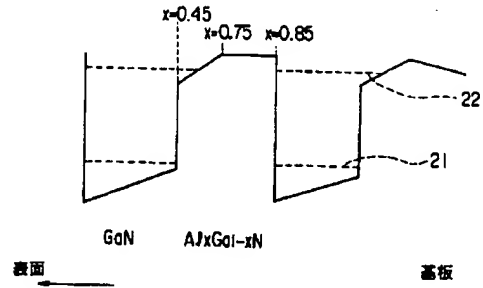
- 21...第1サブバンド
22...第2サブバンド
41...実験で得られたサブバンド間吸収波長
42...サブバンド間吸収波長の計算値

- 51... $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸のフォトルミネッセンススペクトル
52... $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸のフォトルミネッセンススペクトル

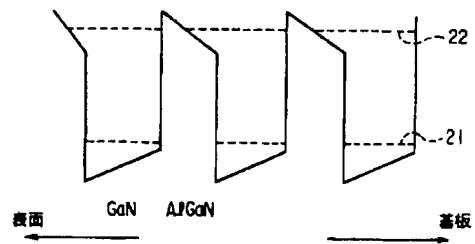
【図1】



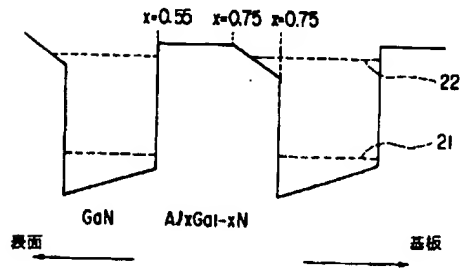
【図2】



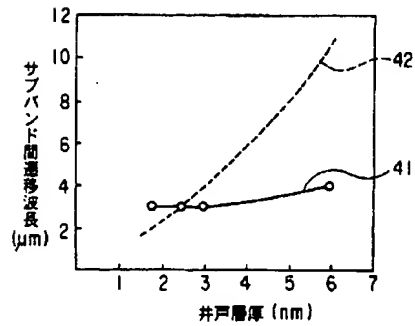
【図6】



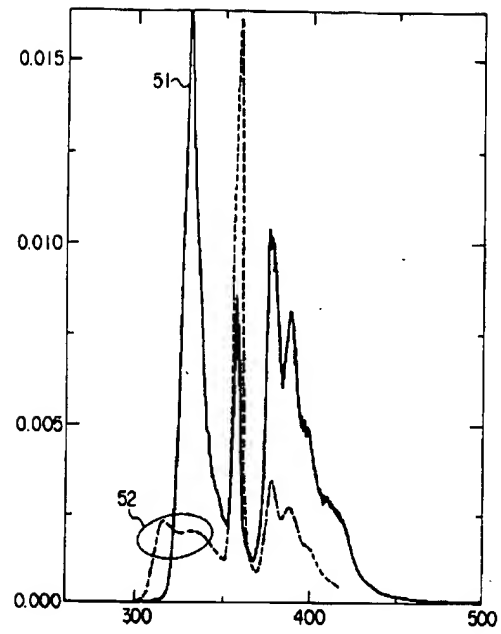
【図3】



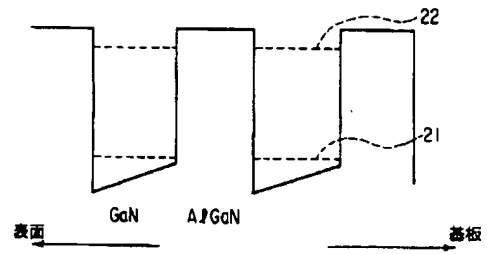
【図4】



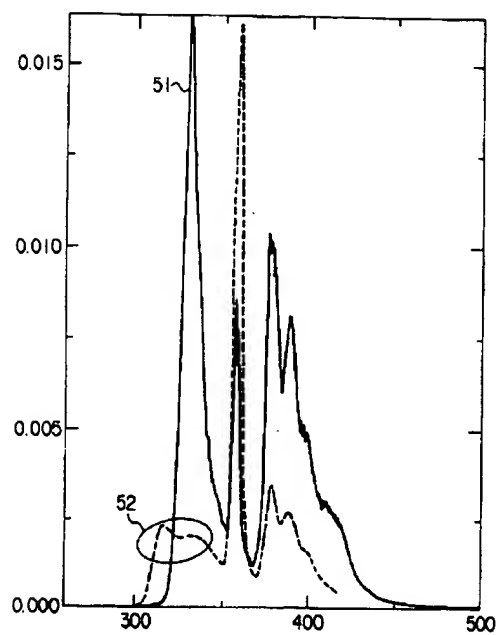
【図5】



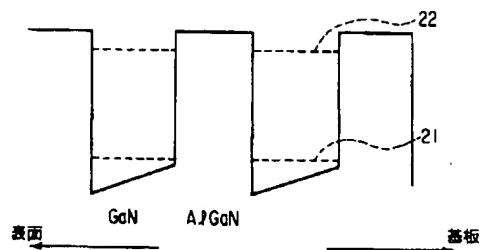
【図7】



【図5】



【図7】



(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 00221553 A

(43)Date of publication of
application: 11. 08 . 00

(51)Int. Cl. G02F 1/365

(21)Application number: 11027203

(71)Applicant: TOSHIBA CORP

(22)Date of filing: 04 . 02 . 99

(72)Inventor: IIZUKA NORIO

(54)NONLINEAR OPTICAL DEVICE

surface side.

(57)Abstract:

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a nonlinear optical device which can realize 1.55 μm inter- subband transition, which can suppress deterioration in crystallinity in a quantum well structure, which has a high electron confinement coefft. and which shows sufficiently intense inter-subband absorption.

SOLUTION: This nonlinear optical device is produced by forming a GaN/ Al_xGa_{1-x}N multiple quantum well layer 13 through a GaN buffer layer 12 on a sapphire substrate 11 so that the multiple quantum well layer 13 constitutes a light absorbing layer by the subband-to-subband transition. In this device, the Al compsn. x in the Al_xGa_{1-x}N barrier layer of the multiple quantum well layer 13 is decreased from the substrate side to the

